УДК 614.849

ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: АНАЛИЗ РИСКОВ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

Аксенов С.Г.

д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа

Аминева А.М.

студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г.Уфа

Аннотация

В статье рассматриваются особенности пожарной опасности объектов возобновляемой энергетики — солнечных и ветровых электростанций — и меры по их противопожарной защите. Проанализированы основные источники возгораний: неисправности электрооборудования, перегрев соединений, утечки гидравлических жидкостей, тепловой разгон аккумуляторов и атмосферные воздействия. Подчёркивается специфика расположения и конструкции оборудования, затрудняющая доступ при пожаре, особенно в гондолах ветрогенераторов и на крышах зданий с солнечными панелями. Описаны технические решения по обеспечению безопасности: применение негорючих материалов, системы быстрого отключения, автоматические установки пожаротушения (порошковые, аэрозольные, водяного тумана), линейные тепловые извещатели и интеграция с диагностическими системами. Отмечена необходимость комплексного подхода, включающего правильное проектирование, регулярное техническое обслуживание и обучение персонала.

Ключевые слова: солнечная электростанция, ветровая электростанция, возобновляемая энергетика, пожарная безопасность, автоматическое пожаротушение.

FIRE PROTECTION OF SOLAR AND WIND ENERGY FACILITIES: RISK ANALYSIS AND ENGINEERING SOLUTIONS

Aksyonov S.G.

Doctor of Economics, Professor,

Ufa University of Science and Technology,

Russian Federation, Ufa

Amineva A.M.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Russian Federation, Ufa

Annotation

The article discusses the fire hazard features of renewable energy facilities — solar and wind power plants — and measures for their fire protection. The main sources of fires are analyzed: electrical malfunctions, overheating of connections, leakage of hydraulic fluids, thermal acceleration of batteries and atmospheric influences. The specific location and design of the equipment is emphasized, which makes access difficult in case of fire, especially in the nacelles of wind turbines and on the roofs of buildings with solar panels. Technical solutions for safety are described: the use of non-flammable materials, quick shutdown systems, automatic fire extinguishing systems (powder, aerosol, water mist), linear heat detectors and integration with diagnostic systems. The need for an integrated approach, including proper design, regular maintenance and staff training, was noted.

Keywords: solar power plant, wind power plant, renewable energy, fire safety, automatic fire extinguishing.

Развитие возобновляемой энергетики в России и во всём мире идёт ускоренными темпами. Солнечные электростанции (СЭС) и ветровые электростанции (ВЭС) всё чаще становятся неотъемлемой частью энергетической инфраструктуры — от удалённых сельских поселений до крупных промышленных комплексов. Однако вместе с ростом количества и мощности таких объектов возрастает и их пожарная опасность. Несмотря на отсутствие топлива в классическом понимании и отсутствие открытого пламени в процессе генерации энергии, солнечные и ветровые станции

содержат значительное количество электрооборудования, работающего под напряжением, что создаёт реальные риски возгорания. При этом специфика расположения, конструкции и эксплуатации этих объектов требует особого подхода к организации противопожарной защиты, отличного от традиционных энергетических установок.

Солнечные электростанции представляют собой комплексы, состоящие из фотогальванических модулей (панелей), инверторов, систем коммутации, кабельных линий, а также, в случае крупных объектов, трансформаторных подстанций и систем накопления энергии (аккумуляторных батарей). Основными источниками пожарной опасности на СЭС являются не сами солнечные панели, а вспомогательное оборудование и электрические соединения. Наиболее уязвимыми зонами считаются:

- соединительные коробки (junction boxes) на тыльной стороне панелей, где возможен перегрев из-за плохого контакта или заводского дефекта;

- инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный и работающие с высокой тепловой нагрузкой;

- кабельные трассы, особенно при неправильной прокладке, повреждении изоляции или перегрузке;

- системы хранения энергии на базе литий-ионных аккумуляторов, склонных к тепловому разгону при нарушении условий эксплуатации [1,2].

Особую опасность представляет так называемый «эффект горячей точки» (hot spot), возникающий при частичном затенении панели, механическом повреждении или деградации ячейки. В этом случае затенённая ячейка начинает потреблять, а не генерировать энергию, что приводит к её перегреву и возможному возгоранию окружающих материалов — особенно если панель установлена на горючем основании (например, деревянной кровле). Кроме того, солнечные панели продолжают генерировать напряжение даже при пожаре, что создаёт серьёзную угрозу для пожарных, осуществляющих тушение. Отключить постоянный ток на уровне модуля практически невозможно без специальных систем быстрого отключения (rapid shutdown), что усложняет ликвидацию возгорания.

Ветровые электростанции, в свою очередь, несут в себе иные, но не менее серьёзные риски. Основная часть оборудования ВЭС сосредоточена в гондоле - кабине, расположенной на вершине башни, на высоте от 50 до 150

метров и выше. Внутри гондолы размещены генератор, редуктор (в классических схемах), преобразователи частоты, системы охлаждения, гидравлические узлы и большое количество кабельной продукции. Повышенная пожарная опасность обусловлена:

- трением в механических узлах (подшипниках, редукторах), приводящим к перегреву;

- утечками гидравлической жидкости, которая при контакте с горячими поверхностями легко воспламеняется;

- короткими замыканиями в электрических цепях, особенно в условиях вибрации и перепадов температур;

- накоплением пыли и масляных отложений, создающих горючий налёт на оборудовании [3].

Пожар в гондоле ветрогенератора развивается стремительно и практически не поддаётся ручному тушению из-за высоты и отсутствия доступа. В большинстве случаев такие пожары приводят к полному уничтожению верхней части установки, а горящие фрагменты могут выпадать на землю, создавая вторичные очаги возгорания. При этом тушение с земли с помощью пожарных стволов малоэффективно из-за высоты и ветровой нагрузки. Поэтому основной акцент в противопожарной защите ВЭС делается на предотвращение возгорания и автоматическое подавление огня на ранней стадии.

Для обоих типов объектов - солнечных и ветровых станций - ключевым элементом противопожарной защиты является правильное проектирование. Уже на этапе разработки проекта необходимо учитывать пожарные риски: выбирать оборудование с высоким классом пожаробезопасности, использовать негорючие материалы для монтажных конструкций, предусматривать достаточные расстояния между модулями или ветрогенераторами, обеспечивать свободный доступ для обслуживания и возможной эвакуации. Важно минимизировать количество соединений в кабельных линиях, использовать кабели с негорючей изоляцией, а также предусматривать системы молниезащиты и заземления, так как атмосферные разряды являются одной из частых причин повреждения оборудования и последующих возгораний [4].

Особое внимание следует уделить системам автоматического обнаружения и тушения пожара. На солнечных станциях, особенно на крышах зданий или вблизи населённых пунктов, целесообразно устанавливать тепловые или дымовые извещатели в зонах инверторов и распределительных щитов. Для наземных СЭС большой мощности применяются линейные тепловые извещатели (термокабель), прокладываемые вдоль кабельных трасс и вблизи оборудования. На ветровых установках практически всегда монтируются автономные автоматические системы пожаротушения внутри гондолы. Чаще всего это модульные порошковые или аэрозольные системы, активируемые при срабатывании тепловых датчиков или термокабеля. Такие системы способны локализовать возгорание в течение первых секунд, не дожидаясь прибытия пожарных. В современных ветрогенераторах системы пожаротушения интегрированы с бортовой диагностикой и могут автоматически останавливать турбину при обнаружении аномалий [5].

Системы хранения энергии, всё чаще применяемые в составе СЭС и ВЭС для выравнивания графика выработки, требуют отдельного подхода к противопожарной защите. Литий-ионные аккумуляторы, несмотря на высокую энергоёмкость, склонны к так называемому «тепловому разгону» — цепной реакции, при которой один перегревшийся элемент вызывает перегрев соседних, что приводит к взрыву и интенсивному горению с выделением токсичных газов. Для защиты таких систем используются специализированные установки пожаротушения на основе водяного тумана, инертных газов или химических составов, подавляющих реакцию на молекулярном уровне. Кроме того, аккумуляторные контейнеры должны быть оборудованы системами вентиляции, датчиками температуры и газоанализаторами, а также располагаться на безопасном расстоянии от других объектов.

Организационные меры также играют важную роль. Персонал, обслуживающий объекты возобновляемой энергетики, должен проходить специальный противопожарный инструктаж с учётом специфики оборудования. Необходимо разрабатывать планы действий при пожаре, предусматривающие отключение оборудования, эвакуацию и взаимодействие с пожарной охраной. На крупных станциях рекомендуется наличие на территории первичных средств пожаротушения, а также создание противопожарных водоёмов или резервуаров в регионах с ограниченным водоснабжением. Важно регулярно проводить техническое обслуживание:

проверять состояние кабелей, контактов, систем охлаждения, очищать оборудование от пыли и масляных отложений.

Стоит отметить, что нормативная база в области пожарной безопасности объектов возобновляемой энергетики в России пока находится в стадии развития. Многие требования заимствуются из общих правил для электроустановок или адаптируются из международных стандартов (например, NFPA 855 для систем хранения энергии). Это создаёт определённые сложности при проектировании и согласовании проектов. Однако по мере накопления опыта и анализа аварийных ситуаций формируются отраслевые рекомендации, направленные на повышение уровня безопасности.

Таким образом следует подчеркнуть, что объекты солнечной и ветровой энергетики, несмотря на их «зелёную» репутацию, не являются пожаробезопасными по умолчанию. Их защита требует комплексного подхода, сочетающего инженерные решения, качественное оборудование, грамотную эксплуатацию и обучение персонала. Инвестиции в противопожарную защиту - это не дополнительные расходы, а необходимая мера для обеспечения надёжности, сохранности дорогостоящего оборудования и, что самое главное, безопасности людей. В условиях стремительного роста доли возобновляемых источников в энергобалансе страны, вопросы пожарной безопасности таких объектов становятся всё более актуальными и требуют системного внимания со стороны проектировщиков, эксплуатирующих организаций и регулирующих органов.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Киселева Е.А. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности газовой котельной // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2022, № 10. - С. 118-129.

2. Аксенов С.Г., Гайзетдинова А.М. Анализ и оценка обеспечения пожарной безопасности на предприятиях пищевой промышленности на примере предприятий по изготовлению сиропа // Экономика строительства. - 2023, № 6. - С. 30-33.

3. Актерский Ю. Е., Горячева М. О. Анализ направлений комплексного использования углеводородных и водородных энергетических ресурсов на территории Российской Федерации // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всероссийской научно-

практической конференции. СПб: Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2022. С. 211-213.

4. Горячева М.О., Актерский Ю.Е., Минкин Д.Ю. Проблемы обеспечения пожарной безопасности на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. №1 (46). -С. 78-83.

5. Кулагин В. А., Грушевенко Д. А. Сможет ли водород стать топливом будущего? // Теплоэнергетика. 2020. № 4. С. 1-14.

Оригинальность 78%